

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-3200002I		
			Sheet Foglio	1 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

Brindisi LNG

SINTESI DEI DATI GEOTECNICI

Questo documento aggiorna e sostituisce il report di Arcadis n°8, codice 3269-AX-CG_34001001, emesso il 01-03-2007.



D02	Agg.to parametri geotecnici – determ. parametri PLAXIS	D. Emmanuello	G. Canetta	 G. Canetta	29/07/2010
D01	First Issue – Prima emissione	D.Emmanuello	G.Canetta	G.Canetta	28/06/2010
Is.– Em.	Description - Descrizione	Prepared- Preparato	Checked- Verificato	Approved- Approvato	Date-Data

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-32000002I		
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	2 / 42	Issue Emiss. D02
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

INDICE

1.	<u>INTRODUZIONE</u>	4
2.	<u>PRESENTAZIONE DEL PROGETTO.....</u>	4
2.1.	SITO DI PROGETTO.....	4
2.2.	CARATTERISTICHE DEL PROGETTO.....	5
2.3.	AZIONE SISMICA DI PROGETTO	6
3.	<u>RIASSUNTO DEI SONDAGGI IN SITO.....</u>	7
3.1.	PROVE IN SITO.....	7
3.2.	PROVE DI LABORATORIO.....	8
4.	<u>CONDIZIONI GEOLOGICHE.....</u>	9
5.	<u>PARAMETRI DELLA PRECEDENTE CARATTERIZZAZIONE STATICA DEI TERRENI</u>	12
5.1.	RIPORTO	12
5.2.	DEPOSITI DELL'ALVEO	13
5.2.1.	PARAMETRI DI CLASSIFICAZIONE	13
5.2.2.	PARAMETRI MECCANICI	13
5.3.	TORBA.....	13
5.3.1.	PARAMETRI DI CLASSIFICAZIONE	13
5.4.	PANCHINA.....	14
5.4.1.	PARAMETRI DI CLASSIFICAZIONE	14
5.4.2.	PARAMETRI MECCANICI	14
5.5.	LIMI CALABRIANI.....	14
5.5.1.	PARAMETRI DI CLASSIFICAZIONE	14
5.5.2.	PARAMETRI MECCANICI	15
5.6.	LIMI/ARGILLE CALABRIANE.....	15
5.7.	ARGILLE CALABRIANE.....	16
5.7.1.	PARAMETRI DI CLASSIFICAZIONE	16
5.7.2.	PARAMETRI MECCANICI	16
5.8.	CALCARE	17
6.	<u>PARAMETRI DINAMICI DELLA PRECEDENTE CARATTERIZZAZIONE DEI</u>	17
	<u>TERRENI.....</u>	17
7.	<u>DATI COMPLEMENTARI.....</u>	18

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione	
			3269-AA-CG-32000002I	
			Sheet Foglio	3 / 42
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010	

7.1. PROVE PRESSIOMETRICHE	18
7.2. PROVE EDOMETRICHE	20
7.3. DETERMINAZIONE DELLA RESISTENZA A TAGLIO NON DRENATA	21
7.4. DEFINIZIONE DELLE PROPRIETÀ DEL TERRENO PER L'ANALISI PLAXIS	22
7.4.1. MODELLAZIONE DEL TERRENO CON PLAXIS	22
7.4.2. DETERMINAZIONE DEI PARAMETRI PER IL MODELLO PLAXIS	23
<u>8. RIASSUNTO DEI PARAMETRI GEOTECNICI.....</u>	<u>24</u>
8.1. STRATIGRAFIA GENERALE	24
8.2. CARATTERIZZAZIONE DEI DEPOSITI D'ALVEO.....	25
<u>APPENDICE 1: RISULTATI PROVE SPT</u>	<u>27</u>
<u>APPENDICE 2: RISULTATI PROVE CPT</u>	<u>29</u>
<u>APPENDICE 3: RISULTATI PROVE TRIASSIALI.....</u>	<u>33</u>
<u>APPENDICE 4: RISULTATI PROVE PRESSIOMETRICHE</u>	<u>34</u>
<u>APPENDICE 5: RISULTATI PROVE EDOMETRICHE.....</u>	<u>37</u>
<u>APPENDICE 6: RESISTENZA A TAGLIO NON DRENATA.....</u>	<u>41</u>

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-3200002I		
			Sheet Foglio	4 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Execution Center ID Code and Issue.		
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	PIR-DI-010		

1. Introduzione

Per il progetto BRINDISI LNG sono già stati fatti in precedenza ampi studi geotecnici. Nel 2005 e' stata definita una campagna d'indagine del suolo da parte di Arcadis, la quale ha redatto una sintesi geotecnica.

Tuttavia, da allora il progetto è stato ridefinito. Una delle principali modifiche al progetto consiste nel fatto che i serbatoi sono ora parzialmente interrati.

Lo scopo di questa relazione è quello di presentare i principali risultati geotecnici forniti dalle campagne in sito e dalle relazioni precedenti, e di determinare i parametri del terreno ora necessari per progettare i serbatoi parzialmente interrati.

E' prevista un'indagine gognostica integrativa nei prossimi mesi. I risultati presentati in questo documento verranno aggiornati una volta eseguita la campagna ed i suoi dati analizzati.

Riferimenti:

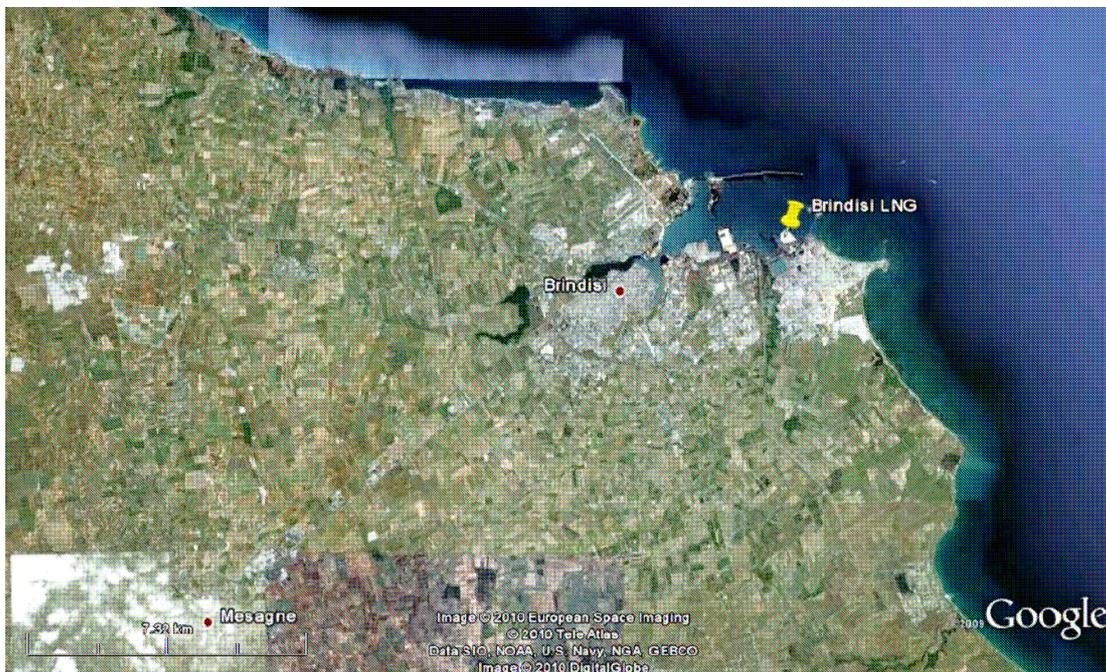
- [1]: Analysis of the available soil data – parameters for the tanks foundation design, Arcadis report n°8, referenced 3269-AX-CG-34001001, issued on 2007-03-01
- [2]: Appendix D for liquefaction, Arcadis, 3269-AX-CG-34001001-IS02, issued on 2007-03
- [3]: Factual Report on phase I and phase II site investigation – volume 1 – Text and Appendices A and B, Fugro, B34502-03, issued on 2003-09
- [4]: Sondelile stratigraphic data on the additional soil survey, issued on 2005-07
- [5]: Depth below seabed to reflector R1-South side, Fugro, ref 213/476/03, issued on 2003-09
- [6]: Specification of additional soil survey – boreholes location plan, Arcadis, issued on 2005
- [7]: Laboratory tests results by ISMES GEO – identification tests, issued on 2005-09
- [8]: Laboratory tests results by BRUNI – identification tests, issued on 2005-09
- [9]: Oedometric tests results by ISMES GEO, issued on 2005-07
- [10]: Triaxial tests results by ISMES GEO, issued on 2005-08
- [11]: Pressuremeter tests results by SONDEDILE, issued on 2005-07

2. Presentazione del progetto

2.1. Sito di progetto

I serbatoi di GNL sono situati a Capo Bianco, nel porto esterno di Brindisi (Sud Italia). Saranno costruiti su una piattaforma realizzata con materiale riportato.

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-CG-3200002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	5 / 42	Issue Emiss.	D02
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010			



2.2. Caratteristiche del progetto

In passato, il progetto iniziale aveva le seguenti caratteristiche in accordo a [1]:

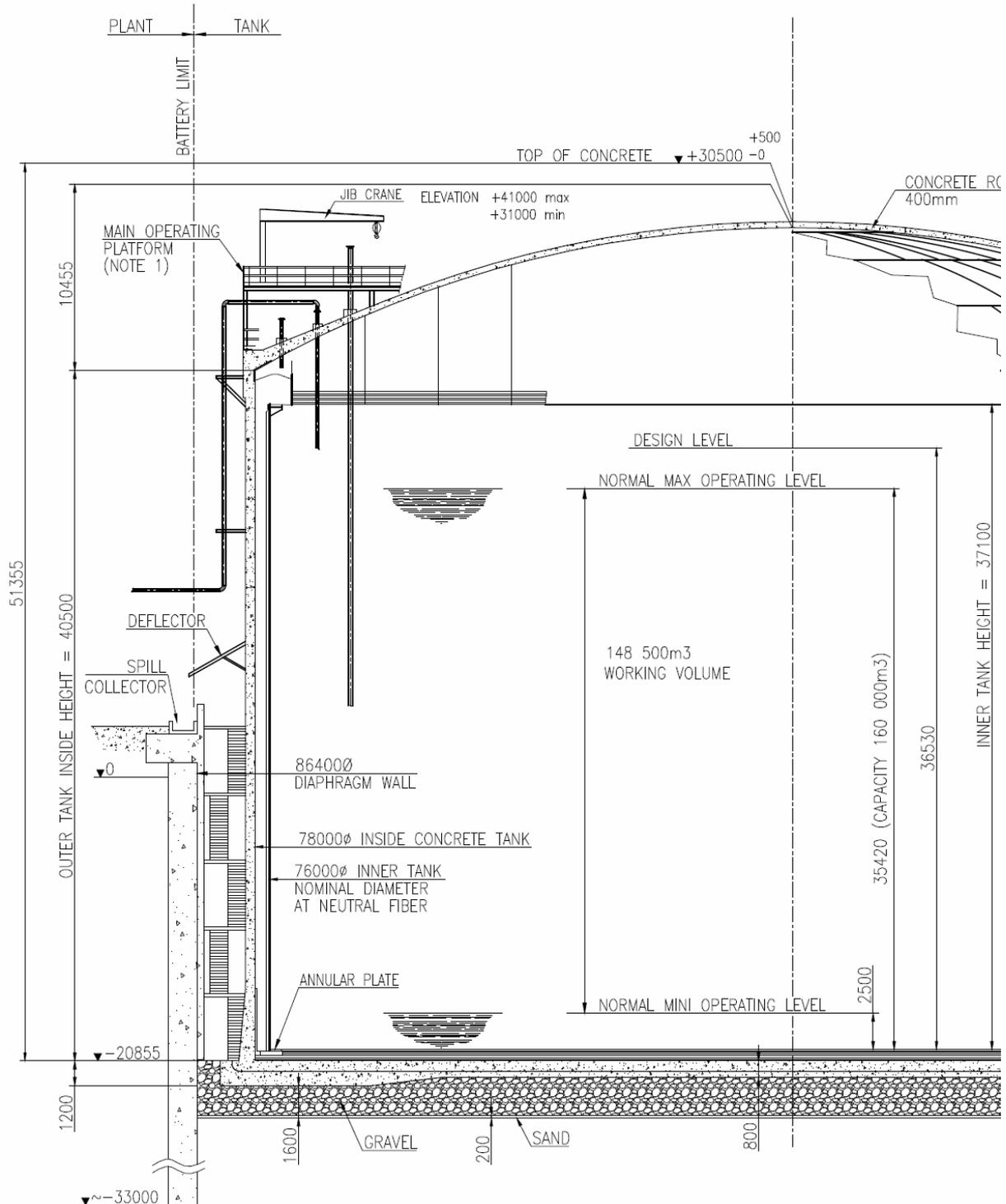
- Capacità del serbatoio: 160 000 m³
- Diametro totale della piastra di fondazione: 84.5 m
- Altezza dell'LNG stoccato: 34.25 m
- Test idraulico con 20.85 m di battente d'acqua

Il progetto attuale ha le seguenti caratteristiche:

- Capacità del serbatoio: 160 000 m³
- Diametro totale della piastra di fondazione: 82.5 m
- Diametro al filo delle paratie: 86.4 m
- Livello di scavo: 23.9 m
- Altezza interna del serbatoio esterno: 40,5 m

La nuova sezione del serbatoio è presentata nella figura seguente.

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-CG-32000021			
		Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	6 / 42	Issue Emiss.
Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010						



2.3. Azione sismica di progetto

Nel progetto iniziale le accelerazioni di picco al suolo orizzontali erano le seguenti:

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-3200002I		
			Sheet Foglio	7 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

- OBE: $a_{max}=0.097$ g
- SSE: $a_{max}=0.208$ g

Magnitudo sismica di progetto: $M_w=5.6$

3. Riassunto dei sondaggi in sito

3.1. Prove in sito

Sul sito di Brindisi LNG sono state condotte due campagne. La prima è stata effettuata nell'agosto 2003 in fase di offerta, includendo le seguenti prove in sito:

- 10 perforazioni (BH) con prelievo di campioni e prove SPT:
 - 5 sotto il serbatoio 1: BH2, 3, 4, 5 spinti a 50m di profondità, e BH 51 sino a 80m di profondità.
 - 5 sotto il serbatoio 2: BH8, 10, 52, 53 spinti a 50m di profondità, e BH8 sino a 80m di profondità
- prove CPT (prove di Penetrazione Piezocono):
 - CPT1 sotto il serbatoio 1, a profondità di 65 m
 - CPT 7 e 9 sotto il serbatoio 2 a profondità di 50m
- Profili di velocità dell'onda di taglio (Vs) (SPCPT)

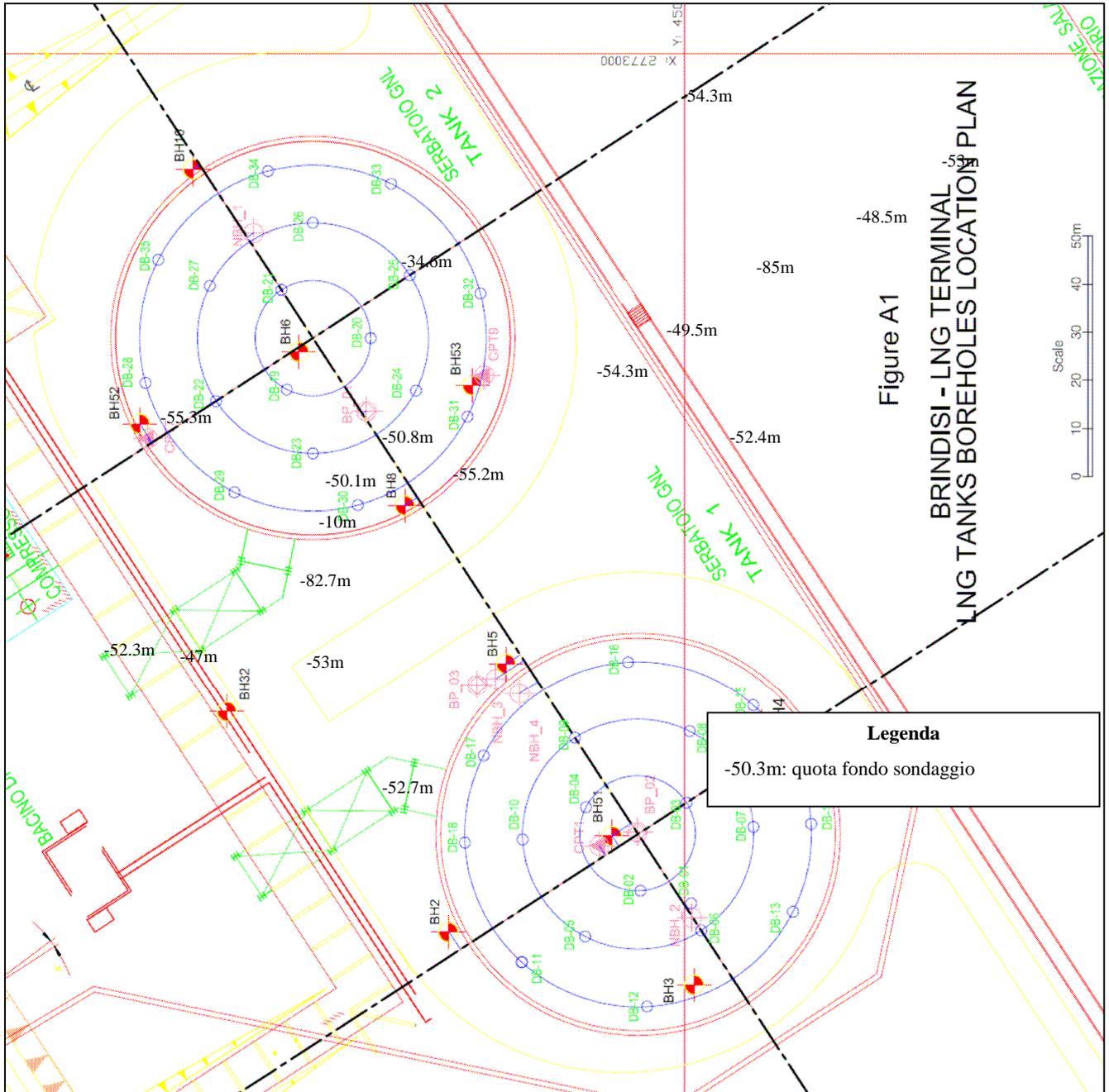
Questa prima campagna contiene anche uno studio batimetrico del fondo marino sul sito di progetto.

Un sondaggio integrativo del suolo è stato richiesto da VCGP, e le prove in sito sono state eseguite nel luglio 2005:

- 4 carotaggi con campionamento:
 - 3 in corrispondenza al serbatoio 1: NBH2, 3 spinto a 45m di profondità e NHB4 spinto a 5m di profondità con campionamento continuo
 - 1 in corrispondenza al serbatoio 2: NBH1 spinto a 45m di profondità
- 3 perforazioni con definizione dei profili pressiometrici:
 - 2 in corrispondenza al serbatoio1: BP1 e 2
 - 1 in corrispondenza al serbatoio 2: BP3.

L'ubicazione delle prove geotecniche effettuate è mostrata nella seguente figura [6]:

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-320000021		
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	Issue Emiss.	D02
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		



3.2. Prove di laboratorio

Nella prima indagine, le prove di laboratorio comprendevano principalmente (secondo [1]):

- Umidità naturale, limiti di Atterberg: limite liquido e limite plastico
- Densità dei campioni prelevati

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-3200002I		
			Sheet Foglio	9 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

- Prove di consolidazione su campioni argillosi (prova edometrica)
- Prove triassiali non consolidate non drenate (UU)
- Prove di taglio diretto consolidate drenate
- Prove triassiali consolidate non drenate (CU)
- Prove di point load (campioni in roccia)

Nell'indagine integrativa, sono state eseguite le seguenti prove di laboratorio (in accordo a [1]):

- Prove di classificazione (contenuto d'acqua, densità, fuso granulometrico, limiti di Attenberg...)
- Prove edometriche
- Prove edometriche di creep su 2 campioni di argilla e 1 su un campione di torba
- Prove triassiali (delle quali metà Consolidate Non Drenate, e l'altra metà Consolidate Drenate)

4. Condizioni geologiche

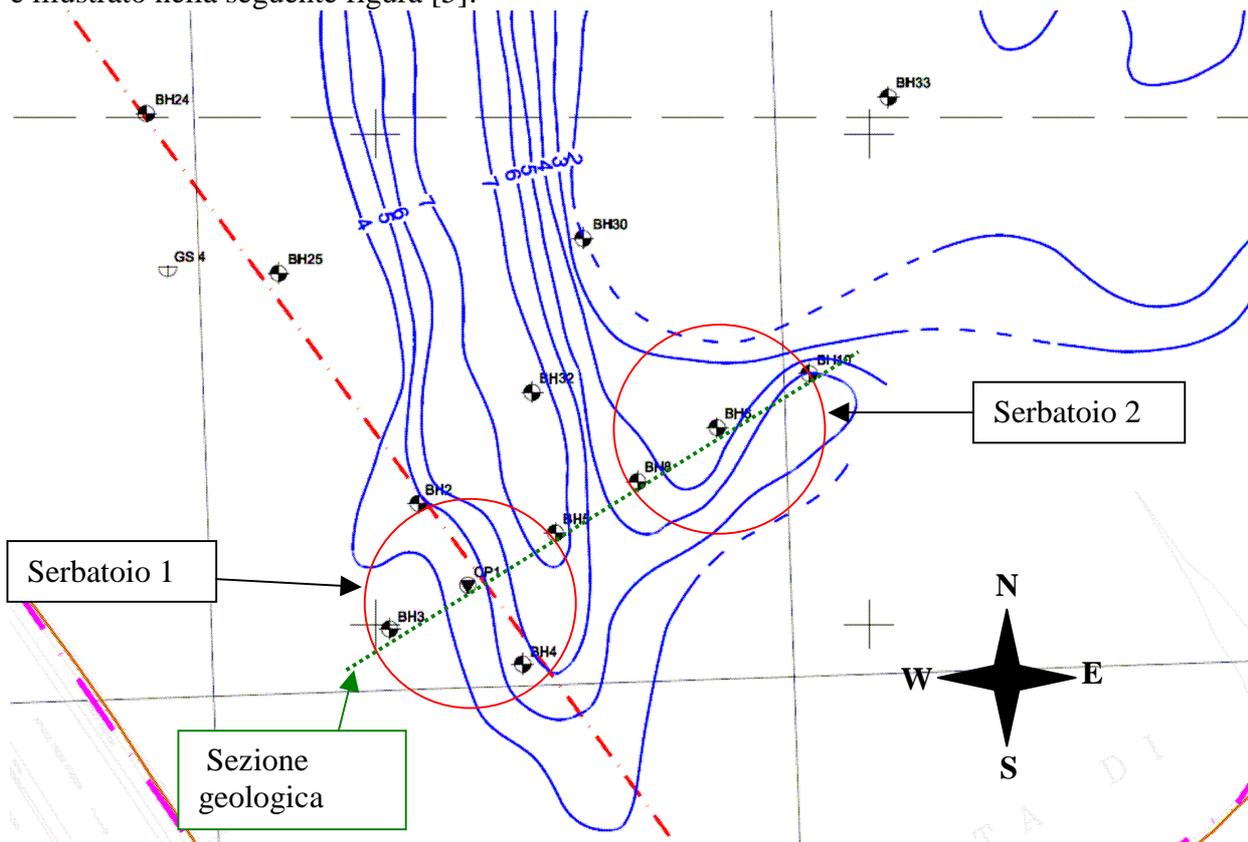
In accordo a [1], si possono rilevare i seguenti strati geologici:

- A0: "Sabbie recenti": sabbia da fine a grossolana, leggermente limosa, con locali ciottoli di calcare
- A1: Depositi nelle incisioni e lenti di torba:
depositi eterogenei di sabbia, argilla, ghiaia, ciottoli e torba, con sabbia organica localmente limosa e lenti di torba. Lenti di torba sono individuate in un paleo-alveo situato tra i due serbatoi di GNL (vicino al serbatoio 1)
- B: Formazione panchina
Formazione composta da sabbia limosa ghiaiosa bruno-arancio, ghiaia calcarea e ciottoli, localmente cementata. La cementazione del panchina può mostrare notevoli variazioni di resistenza in una stessa area.
- C: Argille Calabriane
Si tratta di argille grigio-blu sovraconsolidate e possono essere distinte principalmente in 3 diverse zone:
 - C1: Limo: sulla parte superiore della formazione. Limo sabbioso con conchiglie
 - C2: Strato di transizione
 - C3: Argilla
- D: Calcare

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-3200002I		
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL		Group - Gruppo TANKS		Sheet Foglio 10 / 42
	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010				

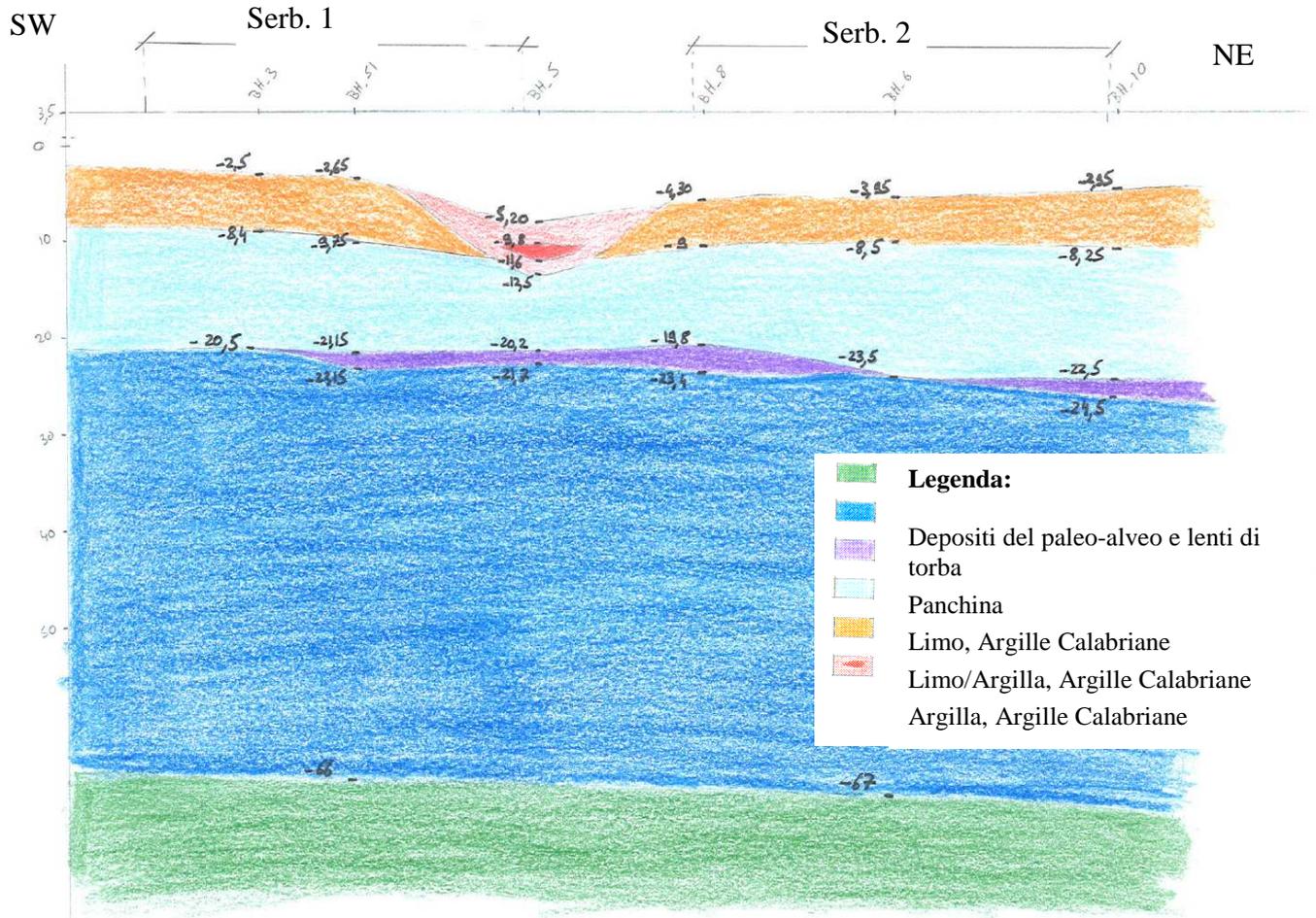
Calcere grigio chiaro. E' stata riscontrata una cavità nel calcare, sotto quota 78.90m nel sondaggio BH6

Il livello del fondale marino al di sotto del sito di progetto precedentemente ai lavori di colmata è illustrato nella seguente figura [5]:



Tutti i dati relativi ai sondaggi [3] della prima campagna sono stati utilizzati per produrre una sezione geologica SW-NE (linea verde tratteggiata sulla figura sopra):

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-32000002I		
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL		Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio 11 / 42	Issue Emiss. D02
					



Ad esclusione del paleo-alveo, le profondità delle formazioni sono relativamente omogenee, ad eccezione dello strato di transizione che ha uno spessore variabile tra 0 e 3.6m.

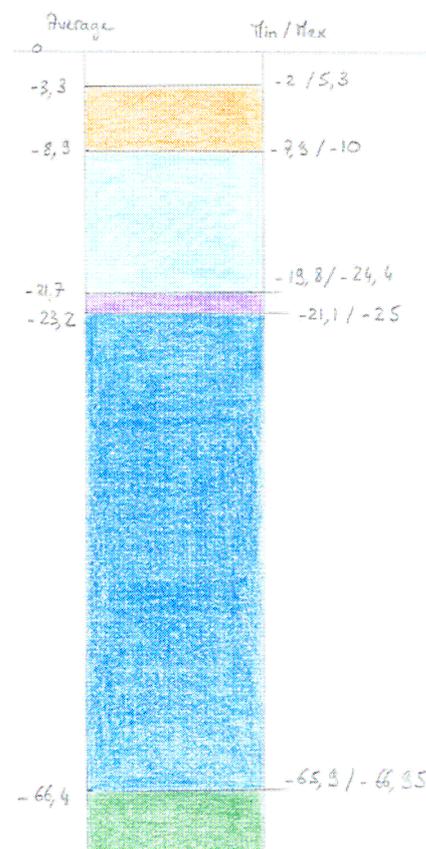
Da tali piante e sezioni trasversali, possiamo notare la presenza di lenti di torba nel paleo-alveo. Questa incisione è approssimativamente situata dove il fondale è più profondo, tra le isobate di quota -7m.

I dati delle perforazioni [3] mostrano la seguente stratigrafia media:

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-320000021		
			Sheet Foglio	12 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

I dati della stratigrafia sotto i serbatoi sono riassunti nella seguente tabella (BH02, 03, 04, 05, 06, 08, 10, 51, 52, 53 dall'indagine di offerta e NHB 01, 02, 03 dalla campagna integrativa)

Strato	Livello superiore (m)		Spessore (m)	
	Variazione	Valore medio	Variazione	Valore medio
Panchina	-2 / -5.3	-3.3	4.2/7.1	5.6
Limi Calabriani	-7.9/-10	-8.9	10.8/16.5	12.7
Limi/Argille Calabriane	-19.8/-24.4	-21.7	1/4	2.4
Argille Calabriane	-21.1/-25	-23.2	43.6/43.7	43.6
Calcare	-65.9/-67	-66.4	-	-



5. Parametri della precedente caratterizzazione statica dei terreni

Negli studi precedenti [1], i parametri geotecnici erano già stati determinati e validati attraverso le analisi di entrambe le indagini, d'offerta e integrativa. Tutti i dati riportati in tale relazione precedente sono stati nuovamente verificati con i risultati delle indagini. Questo capitolo riassume per ogni strato, i principali parametri geotecnici.

5.1. Riporto

Non vi sono prove attualmente disponibili in nessuna delle due indagini, riguardanti lo strato di riportato, che non era ancora stato realizzato durante tali campagne.

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-32000002I		
			Sheet Foglio	13 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

5.2. Depositi dell'alveo

5.2.1. Parametri di classificazione

Le prove di classificazione hanno dato i seguenti risultati:

	Valore Medio
γ [kN/m ³]	21
w [%]	27
w _l [%]	40
w _p [%]	26
I _p [%]	14
Contenuto fine [%]	29

5.2.2. Parametri meccanici

- Non sono state effettuate prove triassiali o edometriche per tale strato.
- Risultati delle prove SPT:

	Variazione	Valore medio	Media
Valore N	10 <N<39	26	26

5.3. Torba

5.3.1. Parametri di classificazione

Le prove di classificazione hanno dato i seguenti risultati:

	Valore Medio
γ [kN/m ³]	14
w [%]	182
w _l [%]	251.5
w _p [%]	159
I _p [%]	92.5
Contenuto di fini [%]	61
%OM	45

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-32000002I		
			Sheet Foglio	14 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Execution Center ID Code and Issue.		
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	PIR-DI-010		

5.4. Panchina

5.4.1. Parametri di classificazione

Le prove di classificazione hanno dato i seguenti risultati:

	Valore Medio
γ [kN/m ³]	21
w [%]	27
w_1 [%]	42
w_p [%]	26
I_p [%]	16
Contenuto di fini [%]	10

5.4.2. Parametri meccanici

- Sono state effettuate prove triassiali per tale formazione, le quali hanno restituito i seguenti parametri:

	Valore medio
ϕ' [°]	38
C' [kPa]	0

- Risultati delle prove SPT:

	Variazione	Valore medio	Media
Valore N	17<N<81 (+ alcuni dati anomali)	40	36

5.5. Limi Calabriani

5.5.1. Parametri di classificazione

Le prove di classificazione hanno dato i seguenti risultati:

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-32000002I		
			Sheet Foglio	15 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Execution Center ID Code and Issue.		
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	PIR-DI-010		

	Valore medio
γ_h [kN/m ³]	20
γ_d [kN/m ³]	16
w [%]	26
w _l [%]	41
w _p [%]	24
I _p [%]	17
Contenuto di fini [%]	68
%OM	1.2
Contenuto di carbonato [%]	27

5.5.2. Parametri meccanici

- Sono state effettuate prove triassiali per tale formazione, che hanno portato alla definizione dei seguenti parametri:

	Valore medio
ϕ' [°]	37
C' [kPa]	0

- Risultati delle prove SPT:

	Variazione	Valore medio	Media
Valore N	21 < N < 79	33	30

- Risultati delle prove CPT:

	Variazione	Valore medio	Media
Resistenza alla punta Qc [MPa]	2.9 < Qc < 20	5.9	5.5
Rapporto della resistenza Fr [%]	0.1 < Fr < 5.1	1.56	1.5

5.6. Limi/Argille Calabriane

Questo strato corrisponde all'interfaccia tra i limi e le argille Calabriane. Tale formazione è sottile e i parametri corrispondenti sono generalmente confusi con quelli delle argille Calabriane. E' possibile tuttavia distinguere tale strato tramite le prove in sito: SPT e CPT.

- Risultati delle prove SPT:

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-3200002I		
			Sheet Foglio	16 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Execution Center ID Code and Issue.		
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	PIR-DI-010		

	Variazione	Valore medio	Media
Valore N	$25 < N < 40$	32	32

- Risultati delle prove CPT:

	Variazione	Valore medio	Media
Resistenza conica Q_c [MPa]	$2.0 < Q_c < 3.7$	2.7	2.6
Rapporto della resistenza Fr [%]	$1.4 < Fr < 2.8$	1.8	1.7

5.7. Argille Calabriane

5.7.1. Parametri di classificazione

I risultati delle prove di classificazione hanno dato i seguenti risultati:

	Valore medio
γ_h [kN/m ³]	20
γ_d [kN/m ³]	16
w [%]	25
w_l [%]	48
w_p [%]	24
I_p [%]	24
Contenuto di fini [%]	88
%OM	1.2
Contenuto di carbonato [%]	24

5.7.2. Parametri meccanici

- Le prove triassiali (CU & UU) eseguite per tale strato hanno portato alla definizione dei seguenti parametri:

	Valore medio
ϕ' [°]	28
c' [kPa]	20

- Risultati delle prove SPT:

	Variazione	Valore medio	Media

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-3200002I		
			Sheet Foglio	17 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

Valore N	21 < N < 68	40	41
-----------------	-------------	----	----

Per tale strato si osserva una crescita costante numero di colpi al crescere della profondità.

- Risultati delle prove CPT:
Per tale strato i valori della resistenza alla punta mostrano un incremento con la profondità:

Profondità (m)	Resistenza alla punta q_c [MPa] (Valore medio)
-24	2.3
-55	5
-65	10

Al riguardo del rapporto di attrito: $2.2\% < Fr < 3.4\%$, con un valore medio del 2.7%

5.8. Calcare

Non sono state effettuate prove per tale strato, il quale non era fondamentale per il progetto iniziale.

6. Parametri dinamici della precedente caratterizzazione dei terreni

La relazione [1] dà i seguenti valori per i moduli dinamici degli strati, basati sulla velocità V_s delle onde di taglio. Tali valori provengono dalle prove sismiche in foro effettuate da Fugro nel 2003.

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-32000002I		
			Sheet Foglio	18 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Execution Center ID Code and Issue.		
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	PIR-DI-010		

Strato	Unità	Quota (m)		γ_h (kN/m ³)	V_s (m/s)	Gmax Medio (MPa)
		Superiore	Inferiore			
Riporto superiore ben compattato	-	+3.5	+1	21	360 ± 40	270
Riporto compattato	-	+1	-3.3	20	300 ± 40	180
Panchina	B	-3.3	-9	21	300 ± 50	180
Calabriane Limi/Sabbie	C1	-8.5	-22	20	270 ± 45	145
Calabriane Limi/Argille	C2	-22	-23	20	300 ± 40	185
Argille Calabriane (variazione lineare di V_s e G_{max} con la profondità)	C3	-23	-66	20	315 ± 40 to 415 ± 40	200 to 340
Substrato calcareo	D	-66	-	24	900±40	2000

7. Dati complementari

7.1. Prove pressiometriche

Le prove pressiometriche sono state reinterpretate per meglio definire le caratteristiche pressiometriche di ciascuno strato.

Prove pressiometriche aggiuntive saranno condotte durante indagini geotecniche integrative. I valori saranno di conseguenza aggiornati.

Si noti che i livelli di deformazione indotti dalla prova pressiometrica sono considerevolmente maggiori di quelli prodotti dal carico delle fondazioni. Pertanto, il modulo pressiometrico E_m non può essere utilizzato direttamente nel calcolo dei cedimenti.

Si fa qui riferimento ad una pratica progettuale consueta in Francia, che impiega un coefficiente chiamato “fattore reologico α ”, dipendente dalla natura del terreno e dal grado di sovraconsolidazione, e che correla il modulo di Menard E_m al modulo statico equivalente per il calcolo dei cedimenti, E_s : $E_s = E_m/\alpha$ (vedi Amar & all, 1991).

Per la definizione del parametro α , si può utilizzare come diretta approssimazione il rapporto E_m/E_r .

Nello studio svolto da Arcadis (rif. [1]), per la definizione del modulo di deformazione dei differenti strati di terreno, tenendo conto del considerevole numero di valori misurati di E_m (in confronto al numero di valori di E_m/E_r), si sono considerati il valore medio di E_m misurato,

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-32000002I		
			Sheet Foglio	19 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

insieme con il valore medio misurato di E_m/E_r , e i valori teorici del fattore reologico α . I risultanti moduli equivalenti $E_s = E_m/\alpha$ sono riportati nella tabella di sintesi nel cap. 8.

Formazione	N. di misurazioni	P_i^* (MPa)					E_m (MPa)			E_m/p_i^*
		min	max	moy	σ	$p_i^* = M - \sigma/2$	min	max	M_h	
Depositi d'alveo	2	0.64	1.59	1.00	0.67	0.67	13.3	18.2	15	15
Panchina	9	0.41	3.76	1.45	1.09	0.90	3.1	100.0	14	9
Limi Calabriani	18	0.87	5.15	2.06	0.87	1.63	17.5	118.1	29	14
Limi/Argille Calabriane	5	0.91	2.08	1.42	0.46	1.18	10.7	21.9	15	11
Argille Calabriane	39	1.11	2.15	1.51	0.26	1.38	13.8	52.2	22	15

I risultati delle prove sono presentati nell'Appendice 4.

Inoltre, sono stati misurati i moduli di scarico/ricarico;, i risultati sono dati nella seguente tabella.

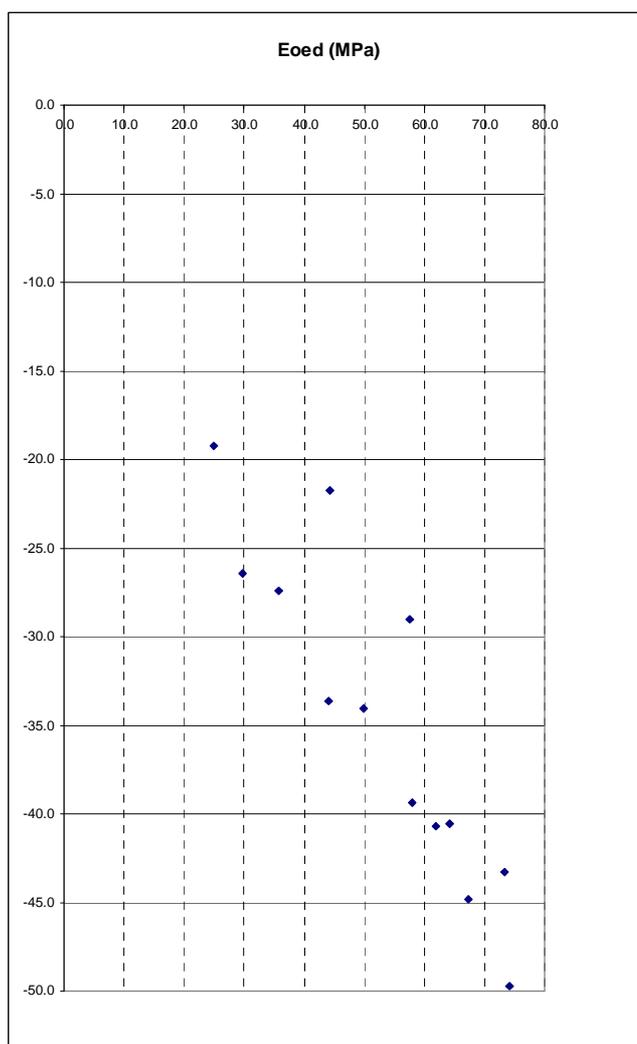
Formazione	E_y (MPa)			
	N.	min	max	M_h
Depositi d'alveo	1	77.6	77.6	78
Panchina	2	34.8	113.2	53
Limi Calabriani	8	36.0	148.6	68
Limi/Argille calabriane	2	17.6	24.5	20
Argille calabriane	19	19.8	100.7	36

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-3200002I		
			Sheet Foglio	20 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

7.2. Prove Edometriche

Le prove edometriche sono state reinterpretate per determinare il modulo edometrico che non era dato nello studio precedente. I test edometrici sono stati condotti solamente per gli strati argillosi.

Considerando che le Argille Calabriane sono sovraconsolidate, il modulo edometrico è il modulo di ricarica. Il suo valore cresce con la profondità, come appare nel seguente grafico:



In accordo a tutte le prove edometriche, è possibile suddividere le Argille Calabriane in quattro strati differenti, con le seguenti caratteristiche.

Infine, tre prove edometriche sono state eseguite sullo strato di Torba. Anche tali risultati sono presentati nella tabella seguente.

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-3200002I		
			Sheet Foglio	21 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

layer		Sigma'p (kPa)	e ₀	OCR	C _c	C _s	C _v (m ² /s)	E _{oed} (MPa)
Depositi d'alveo: Torba		-	5.18	-	2.23	0.200	2*10 ⁻⁷	2
Limi/Argille Calabriane		500	0.65	2.3	0.24	0.017	2.5*10 ⁻⁷	32
Argille Calabriane	Quota superiore dello strato fino a -32 m	750	0.65	2.7	0.27	0.024	3.8*10 ⁻⁷	40
	-32 a -38 m	850	0.63	2.5	0.24	0.022	3.5*10 ⁻⁷	48
	-38 a -42.5 m	900	0.70	2.2	0.26	0.022	3.2*10 ⁻⁷	60
	Sotto -42.5 m	960	0.63	2.0	0.25	0.021	2.5*10 ⁻⁷	70

I risultati riportati sono presentati nell'Appendice 4.

7.3. Determinazione della resistenza a taglio non drenata

La resistenza a taglio non drenata (C_u or S_u) può essere stimata attraverso correlazioni con le prove CPT, prove SPT e pressiometriche, utilizzando le seguenti formule:

- Per le CPT: $C_u = \frac{q_c - \sigma_{v0}'}{N_c}$, con N_c coefficiente empirico, tra 15 e 20.
- Per le pressiometriche: $C_u = \frac{p_l^*}{10} + 0.025 \text{ MPa}$
- Per le SPT: $C_u = 5 \times N$ [kPa]

Tali correlazioni restituiscono valori abbastanza omogenei, in particolare per gli stati argillosi. Il valore di C_u nello strato delle Argille Calabriane cresce con la profondità. Per rappresentarne l'andamento, tale strato è suddiviso in quattro parti, in accordo con i risultati edometrici. La tabella seguente evidenzia i valori di C_u per ciascuno strato. (Il grafico di correlazione è presentato nell'Appendice 6).

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-32000002I		
			Sheet Foglio	22 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Execution Center ID Code and Issue.		
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	PIR-DI-010		

		C_u [kPa]
Limi Calabriani		160
Limi/Argille Calabriane		150
Argille calabriane	Dalla sommità dello strato fino a -32 m	150
	da -32 a -38 m	175
	da -38 a -42.5 m	210
	Sotto -42.5 m	230

7.4. Definizione delle proprietà del terreno per l'analisi Plaxis

7.4.1. Modellazione del terreno con Plaxis

Per i calcoli geotecnici verrà impiegato un modello Plaxis. In questo programma, il comportamento meccanico dei terreni può essere modellato con differenti modelli costitutivi, a seconda del problema che si intende rappresentare.

Per ogni modello costitutivo sono richiesti diversi parametri, attraverso la cui calibrazione si fa in modo che il comportamento del modello sia simile a quello osservato nel corso dell'indagine geognostica.

Per i calcoli geotecnici dei serbatoi, si adotteranno due modelli costitutivi:

- Mohr-Coulomb per terreni sabbiosi e limosi: questo modello simula il terreno con un comportamento elastico – perfettamente plastico. I parametri sono:
 - o E, modulo di Young (kPa)
 - o ν , coefficiente di Poisson
 - o ϕ' , angolo d'attrito efficace ($^{\circ}$)
 - o c' , coesione efficace (kPa)

- Hardening Soils per terreni argillosi: questo modello consente la rappresentazione di un incrudimento isotropo del terreno. La principale differenza rispetto a Mohr-Coulomb risiede nel fatto che il modulo del terreno dipende dallo stato di sforzo. Questo modello è particolarmente utile quando si debbono simulare scavi nei quali lo stato di sforzo del terreno viene molto modificato. Per rappresentare questa rigidità dipendente dallo sforzo, sono necessari tre differenti moduli, e dei parametri di calibrazione:
 - o p_{ref} , pressione di riferimento alla quale viene definito il modulo elastico, solitamente pari a 100 kPa
 - o m, esponente della legge di potenza
 - o E_{50}^{ref} , modulo secante da prova triassiale drenata
 - o E_{ed}^{ref} , modulo tangente nel carico primario della prova edometrica
 - o E_{ur}^{ref} , modulo di scarico – ricarico
 - o ν_{ur} : coefficiente di Poisson in scarico – ricarico

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-CG-3200002I			
		Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio	23 / 42	Issue Emiss.
Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010						

oltre ai consueti parametri di resistenza alla Mohr-Coulomb:

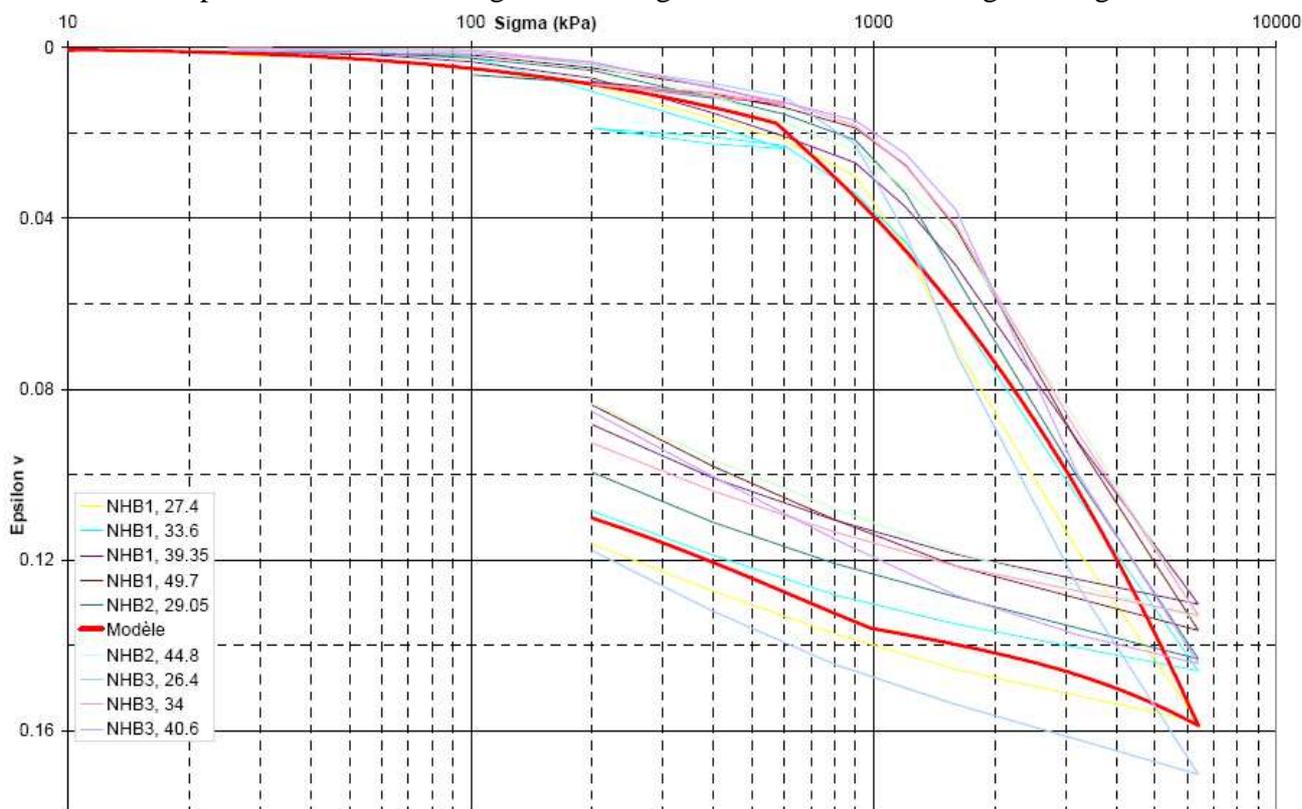
- φ , angolo d'attrito ($^{\circ}$)
- c , coesione (kPa).

7.4.2. Determinazione dei parametri per il modello Plaxis

I parametri possono essere ricavati direttamente dall'indagine geognostica.

Per terreni argillosi, il modulo di elasticità ricavato dai test non può essere usato come parametro di input nel modello Hardening Soil. Per determinare i tre moduli elastici necessari, definiti al paragrafo precedente, si ricorre ad una funzione interna di Plaxis, considerando le prove geotecniche di laboratorio; in particolare sono state simulate le prove edometriche eseguite da Ismes Geotecnica nell'indagine integrativa, per la determinazione di tutti i parametri.

Il diagramma seguente presenta i risultati ottenuti nella simulazione del test edometrico accanto ai risultati delle prove edometriche eseguite sulle argille Calabriane nell'indagine integrativa.



Dal raffronto, si può verificare che la curva di comportamento nella simulazione ben rappresenta il reale comportamento del materiale, senza sovrastimarne la rigidità.

Per semplificare i calcoli, per i quattro stati di argille definiti al par. 7.2 sono stati adottati gli stessi parametri costitutivi, essendo le differenze abbastanza limitate ai fini dell'analisi FEM.

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-32000002I		
			Sheet Foglio	24 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

8. Riassunto dei parametri geotecnici

8.1. Stratigrafia generale

In conclusione, la tabella seguente contiene i principali dati geotecnici per ciascuno strato, dedotti dalle indagini in fase d'offerta ed integrativa sul progetto Brindisi LNG.

		Riporto	Panchina	Limi Calabriani	Limi / Argille Calabriane	Argille Calabriane
Livello superiore [m]		+3.5	-3.3	-8.9	-21.7	-23.2
Dati caratteristici	γ_h [kN/m ³]	21	21	20	20	20
	w [%]	-	27	26	25	25
	I _p [%]	-	16	17	24	24
Parametri Meccanici	MC					
	C_u [kPa]	-	160	160	150	150
	ϕ' [°]	37	37	37	28	28
	c' [kPa]	0	0	0	20	20
	HS					
	E_{50}^{ref} [MPa]	-	-	-	12	12
	E_{oed}^{ref} [MPa]	-	-	-	7.5	7.5
	E_{ur}^{ref} [MPa]	-	-	-	40	40
	m	-	-	-	0.6	0.6
	p_{ref} [kPa]	-	-	-	100	100
	OCR [-]	-	-	-	1.7	1.7
	K₀	0.40	0.40	0.40	0.68	0.68
	C_v [m²/s]	-	-	-	2.5 10 ⁻⁷	3.8 10 ⁻⁷
k_h [m/s]	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	2.5 10 ⁻⁹	2.5 10 ⁻⁹	
k_v [m/s]	10 ⁻⁴	10 ⁻⁵	10 ⁻⁶	5.0 10 ⁻¹⁰	5.0 10 ⁻¹⁰	

Note:

- MC sta per Mohr-Coulomb e HS per Hardening SOil. Quando il modello non è specificato, il parametro vale per entrambi (es., ϕ' , c').
- Non sono disponibili prove riguardanti lo strato di colmata dato che non era ancora stato realizzato durante entrambe le indagini.

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-32000002I		
			Sheet Foglio	25 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

- Dato che lo strato limo-argilloso è molto sottile e non può essere definito in modo preciso, le sue caratteristiche vengono assimilate a quelle delle argille superiori.
- Per la determinazione di OCR, si considera lo sforzo verticale dopo l'operazione di riporto della colmata come sforzo iniziale verticale. Tale scelta riduce i valori calcolati di OCR rispetto a quelli stimati in laboratorio, prima delle operazioni di colmata.
- Il parametro K_0 è calcolato nello strato argilloso con la seguente formula:

$$K_0 = (1 - \sin(\varphi)) \cdot OCR^{\sin(\varphi)}$$

- La permeabilità è calcolata per mezzo della seguente formula:

$$k_v = \frac{\rho_w \cdot g \cdot C_v}{E_{oed}}$$

- per i livelli argillosi, la permeabilità orizzontale è assunta $k_h = 5 k_v$ per tenere conto della presenza di lenti limose osservate in sede di indagine geognostica.

8.2. Caratterizzazione dei depositi d'alveo

Come indicato nel capitolo 4, uno dei serbatoi è parzialmente collocato sui depositi del paleo-alveo. Questi depositi sono costituiti da sabbie e torbe aventi caratteristiche meccaniche diverse da quelle degli altri strati trattati nei capitoli precedenti.

In entrambe le indagini, alcune prove sono state condotte in quest'area:

- Campagna in fase d'offerta:
 - 2 prove di caratterizzazione per la torba (BH2 e BH5)
 - 1 prova di caratterizzazione per le sabbie (BH5)
- Campagna integrativa:
 - 2 prove pressiometriche nelle sabbie (BP 03)
 - 3 test edometrici nella torba (NBH4)

Le varie prove hanno dato i seguenti parametri di caratterizzazione per questi depositi.

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-32000002I		
			Sheet Foglio	26 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

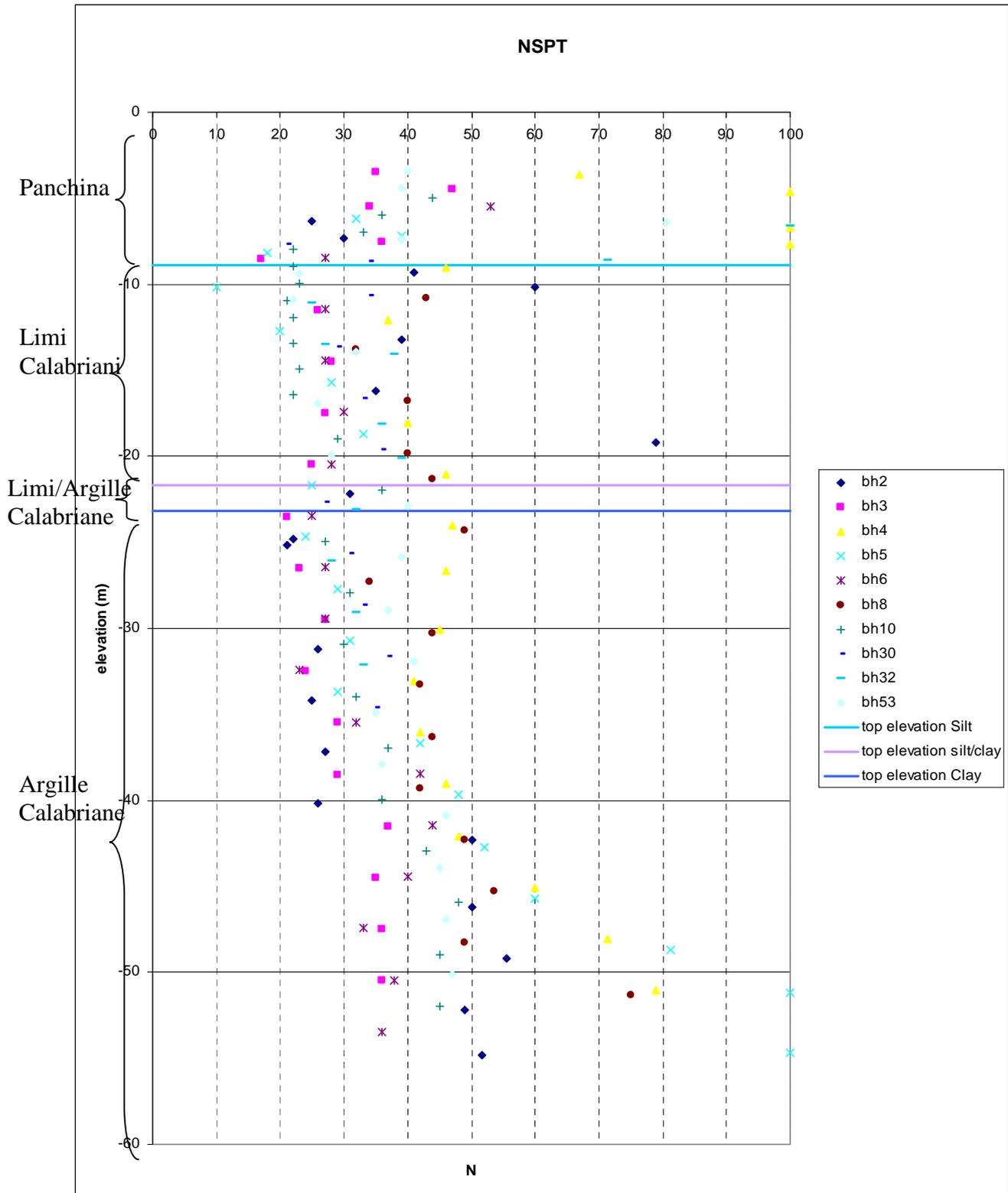
			Sabbia	Torba
Parametri caratteristici		γ [kN/m ³]	21	14
		w [%]	27	182
		I _p [%]	14	92.5
		%OM	-	33
Parametri meccanici		C _u [kPa]	100	40
		c' [kPa]	5	5
		ϕ' [°]	36	23
	Pressiometrici	E _M [MPa]	15	-
		α [-]	1/3	-
		E _M / α [MPa]	48	-
	Edometrici	E _{oed} [MPa]	-	2
		C _v [m ² /s]	-	2*10 ⁻⁷

c' e ϕ' sono state determinate considerando i valori delle altre prove (I_p).

	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-3200002I		
			Sheet Foglio	27 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

APPENDICE 1: RISULTATI PROVE SPT

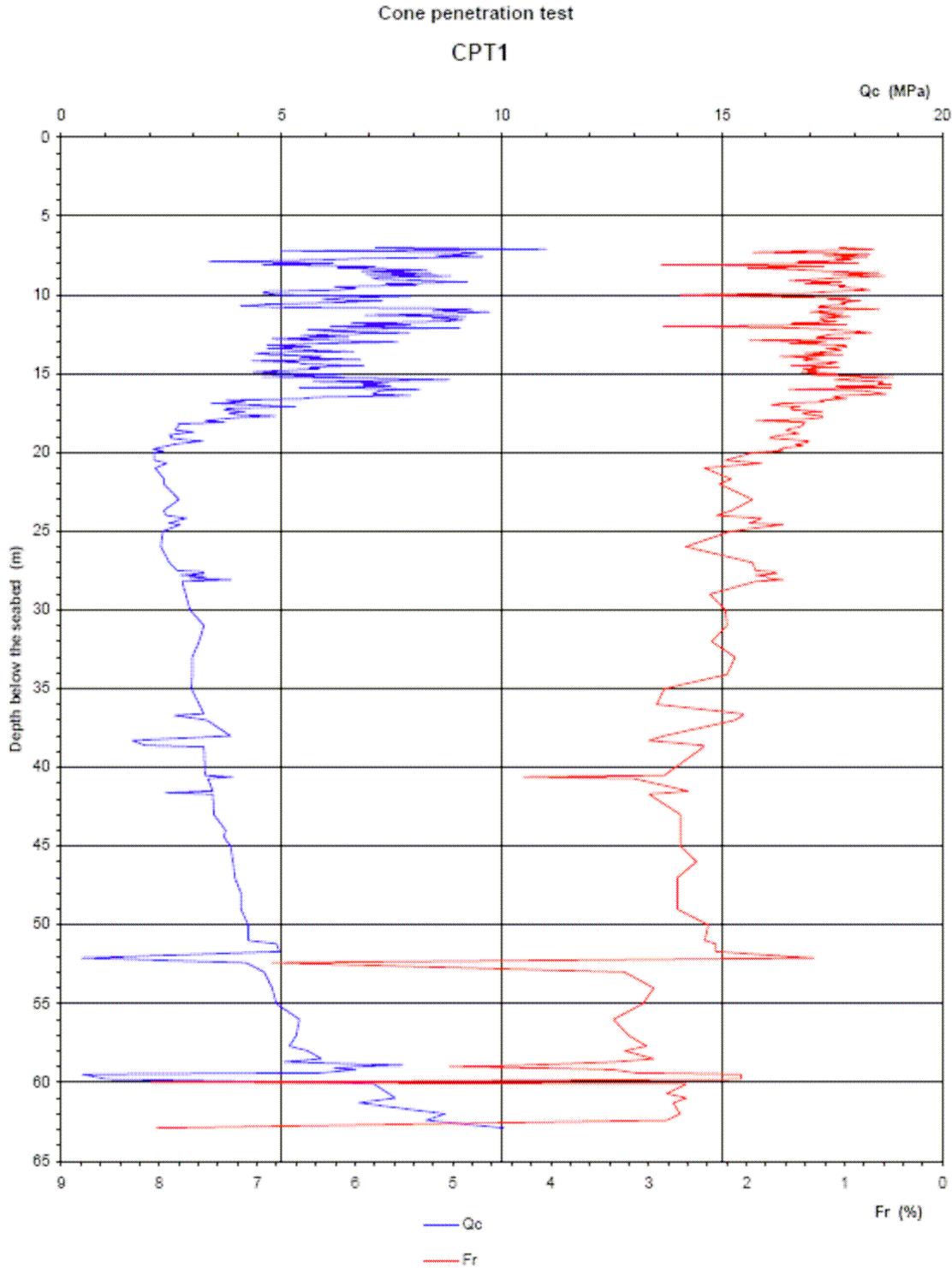
	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-32000002I		
	Sheet Foglio 28 / 42 Issue Emiss. D02		Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS			



	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione	
			3269-AA-CG-3200002I	
			Sheet Foglio	29 / 42
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010	

APPENDICE 2: RISULTATI PROVE CPT

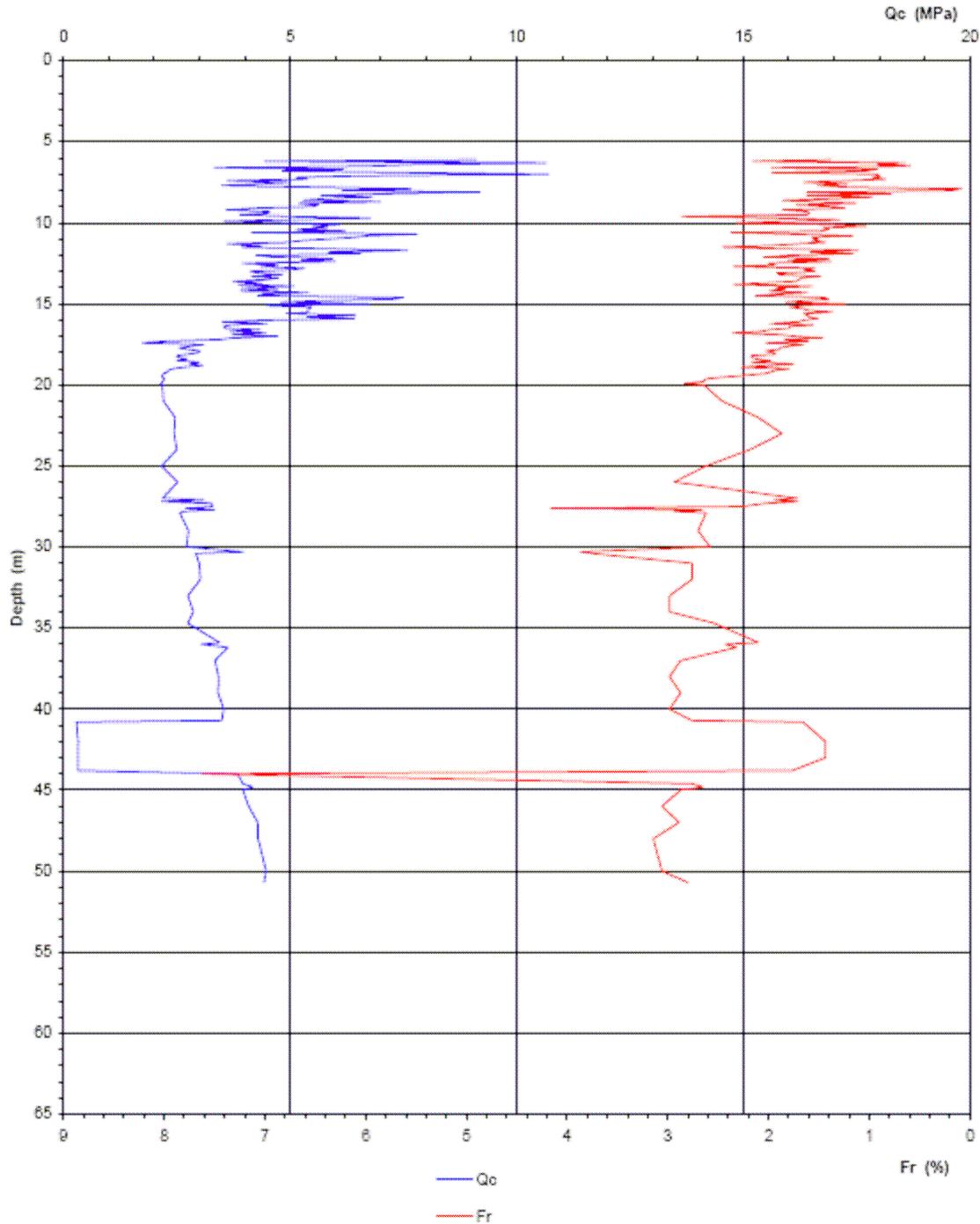
	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-32000002I		
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	Issue Emiss.	D02
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		



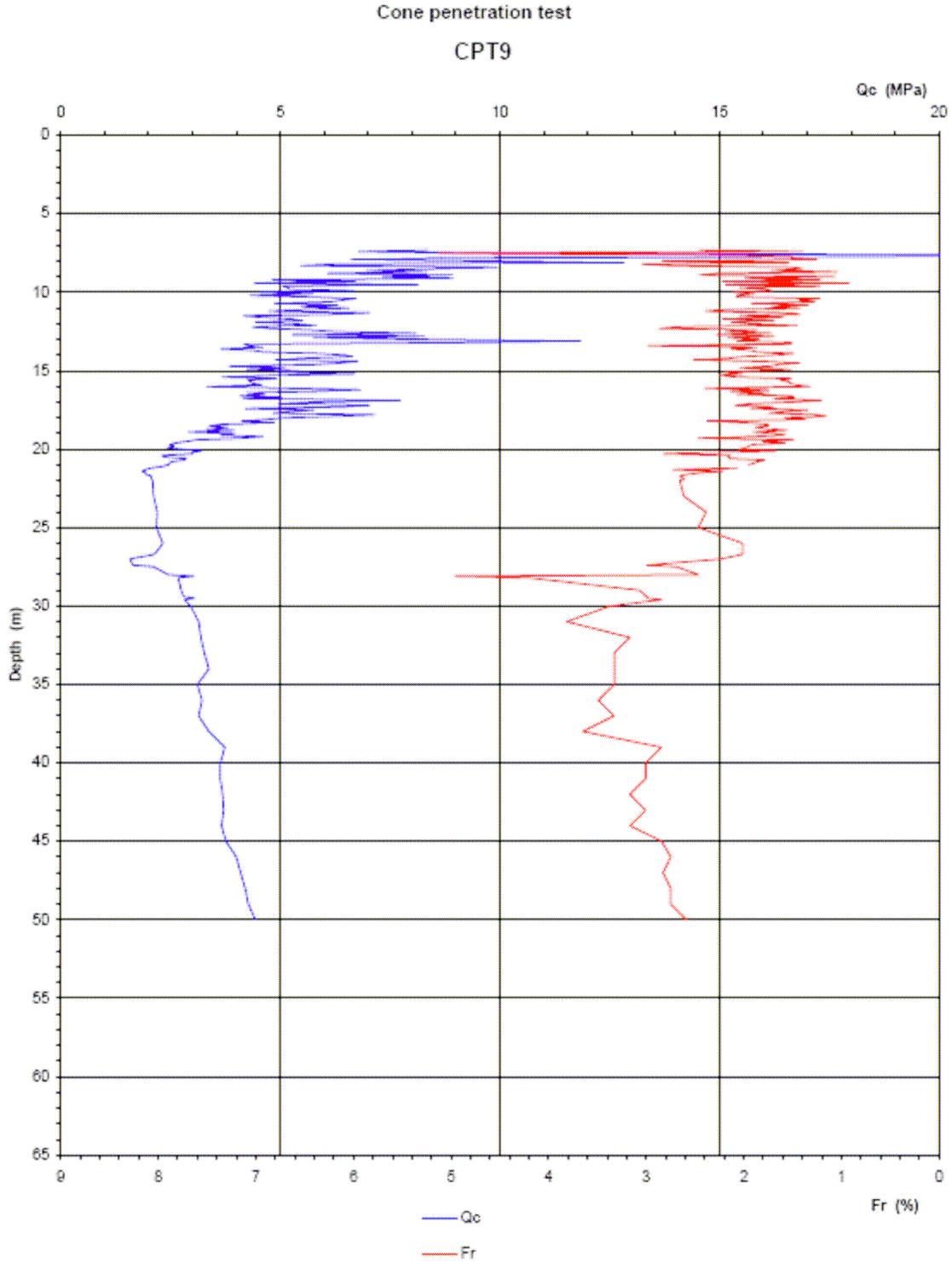
	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-CG-32000002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	31 / 42	Issue Emiss.	D02
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010			

Cone penetration test

CPT7

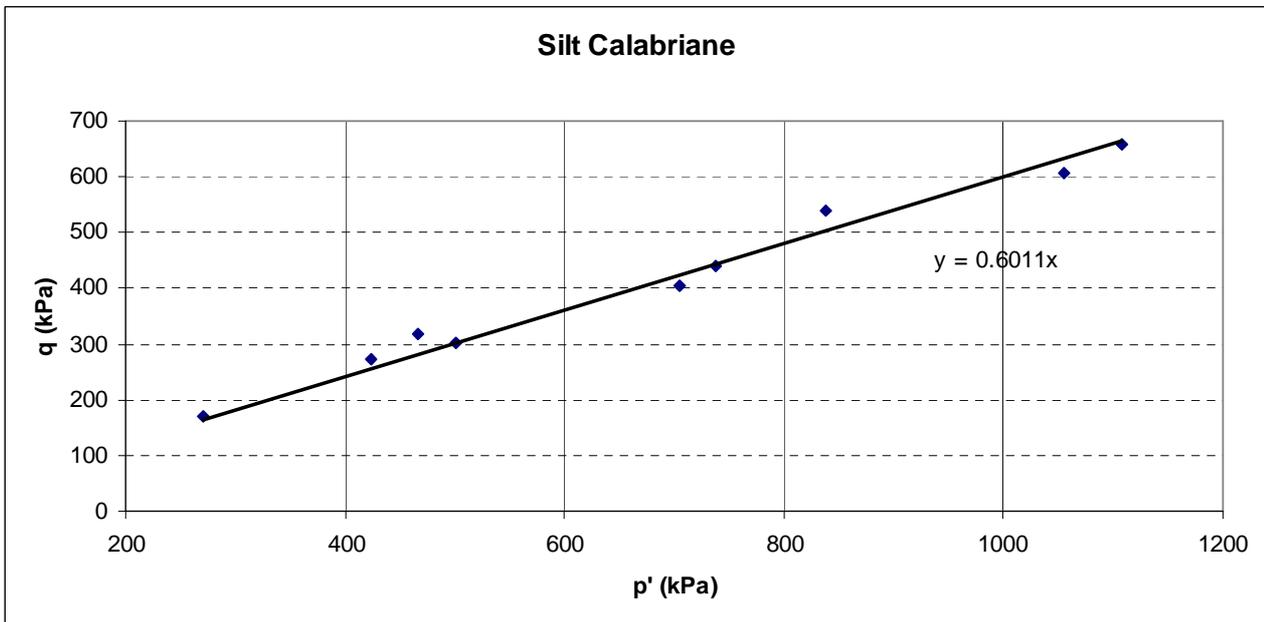
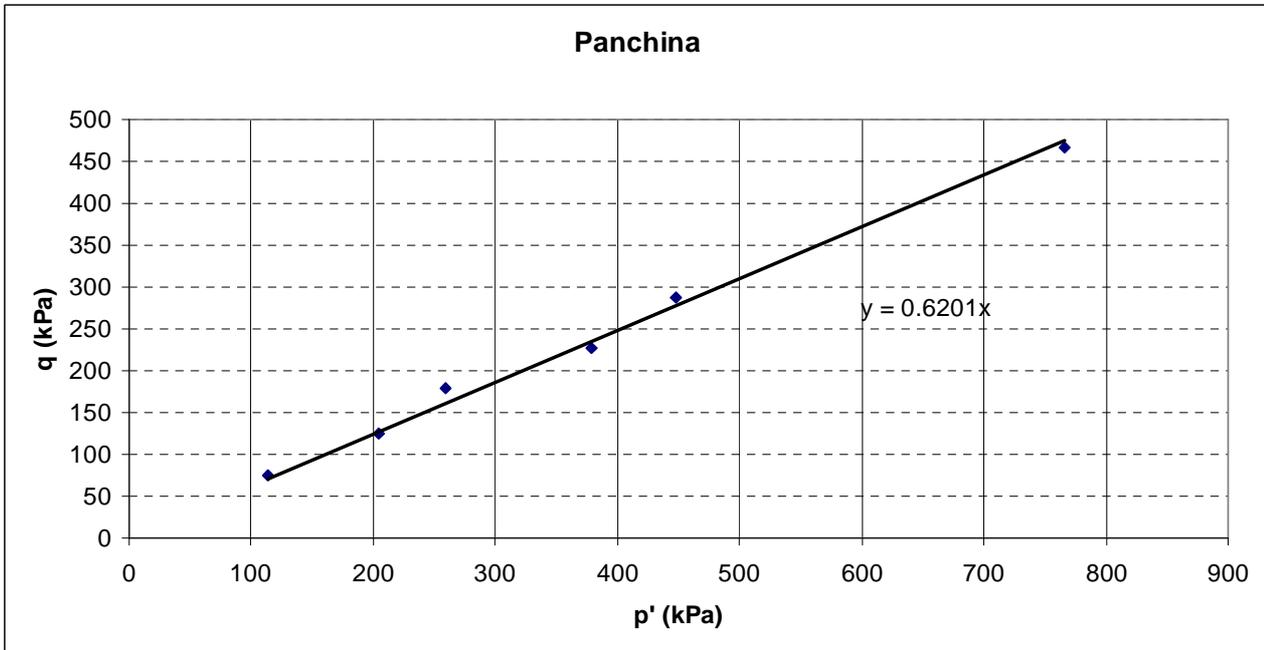


	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-32000002I		
			Sheet Foglio	32 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		



	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-3200002I		
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	Issue Emiss.	D02
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		

APPENDICE 3: RISULTATI PROVE TRIASSIALI



	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione			
			3269-AA-CG-3200002I			
	Plant - Impianto	Group - Gruppo	Sheet Foglio	34 / 42	Issue Emiss.	D02
	BRINDISI LNG TERMINAL	TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010			

APPENDICE 4: RISULTATI PROVE PRESSIOMETRICHE

SINTESI DEI DATI GEOTECNICI

Identification Code
Codice di Identificazione

3269-AA-CG-3200002I

Sheet Foglio

35 / 42

Issue Emiss.

D02



Plant - Impianto

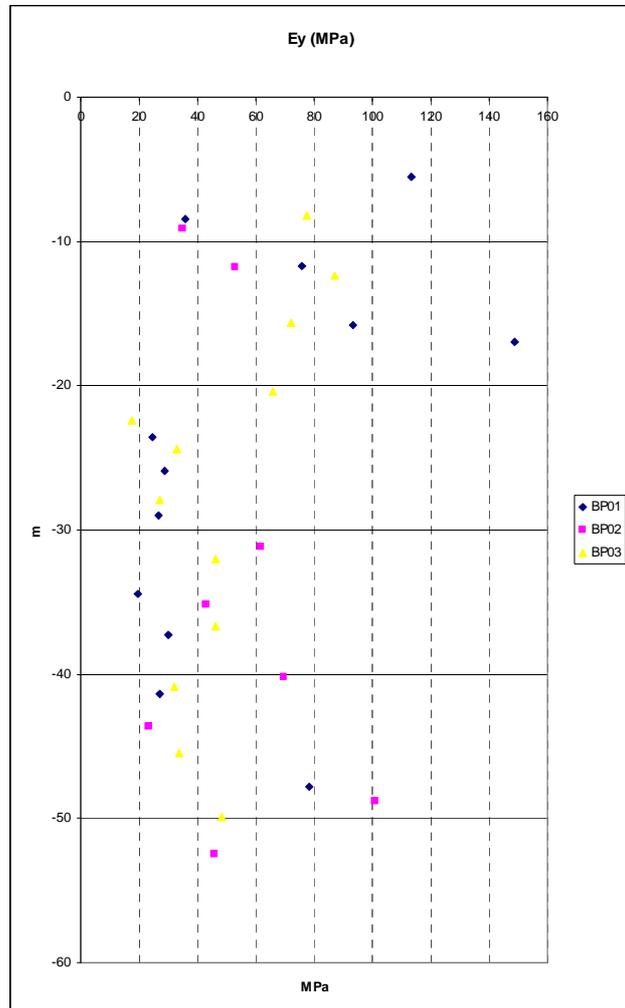
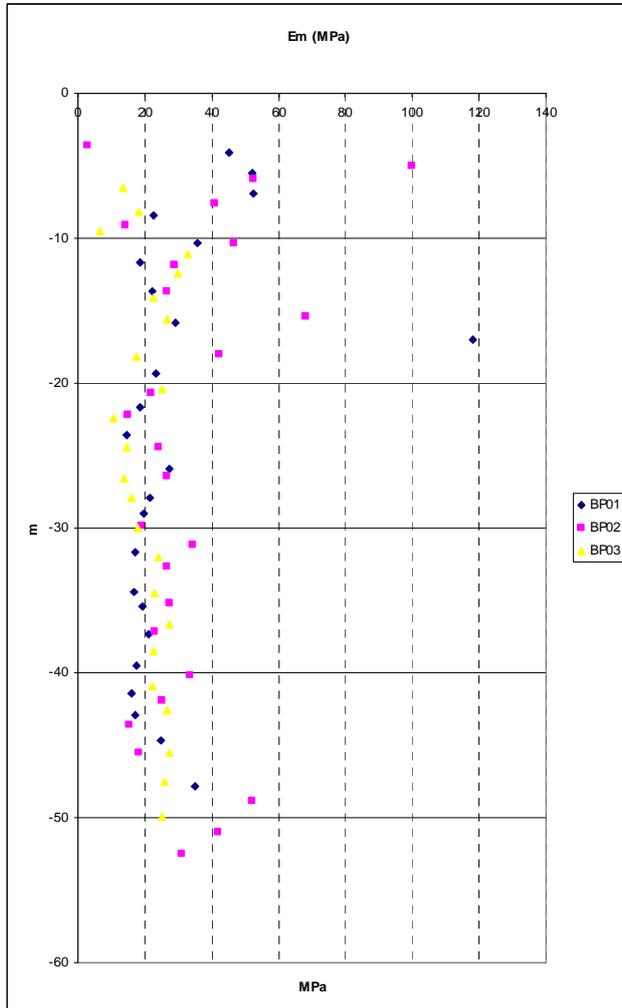
BRINDISI LNG TERMINAL

Group - Gruppo

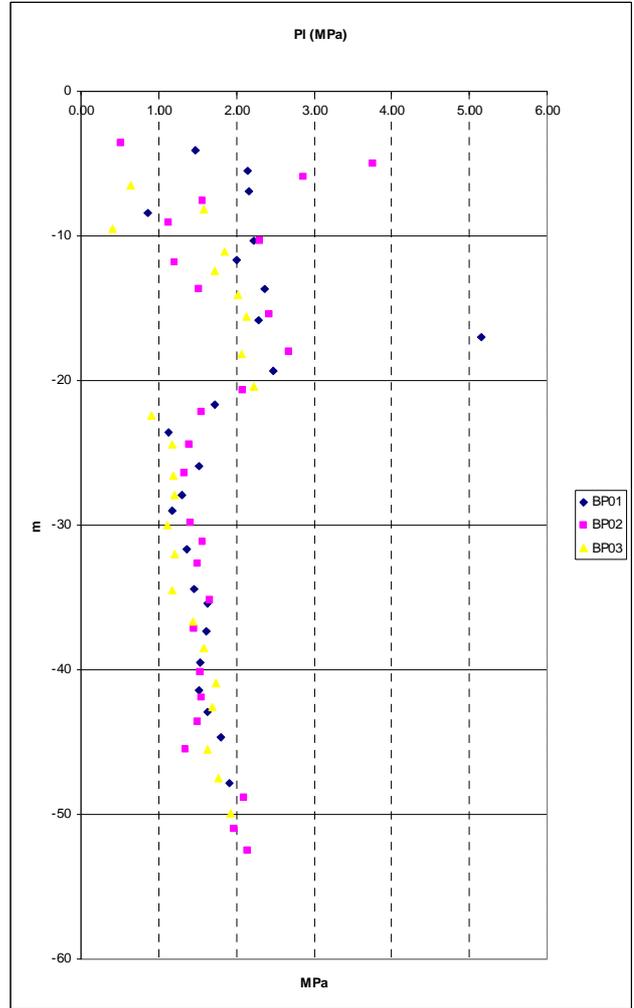
TANKS

Execution Center ID Code and Issue.

PIR-DI-010



	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-3200002I		
			Sheet Foglio	36 / 42	Issue Emiss.
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010		



	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione	
			3269-AA-CG-32000002I	
			Sheet Foglio	37 / 42
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010	

APPENDICE 5: RISLUTATI PROVE EDOMETRICHE

SINTESI DEI DATI GEOTECNICI

Identification Code
Codice di Identificazione

3269-AA-CG-3200002I

Sheet Foglio

38 / 42

Issue Emiss.

D02



Plant - Impianto

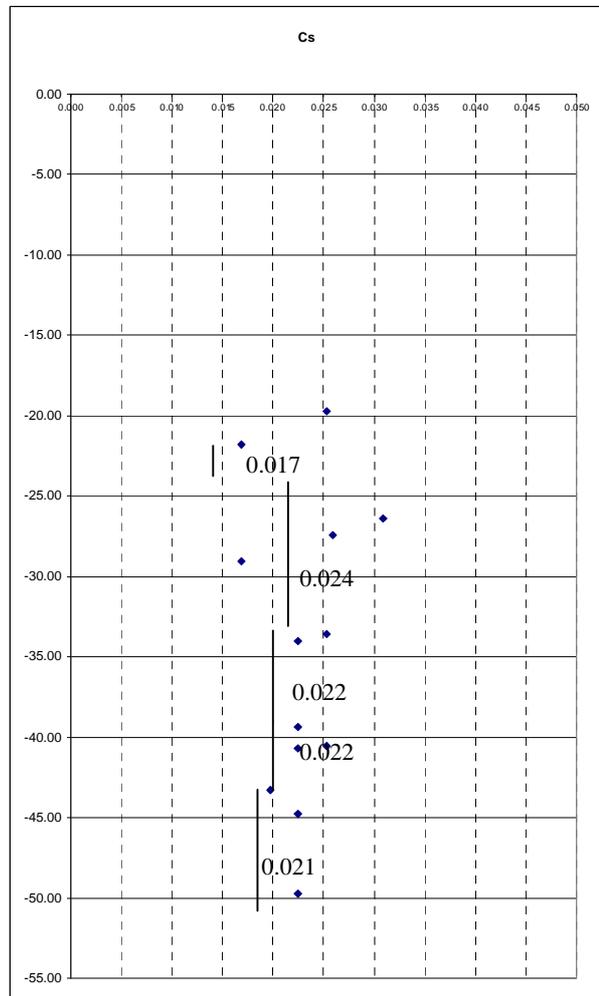
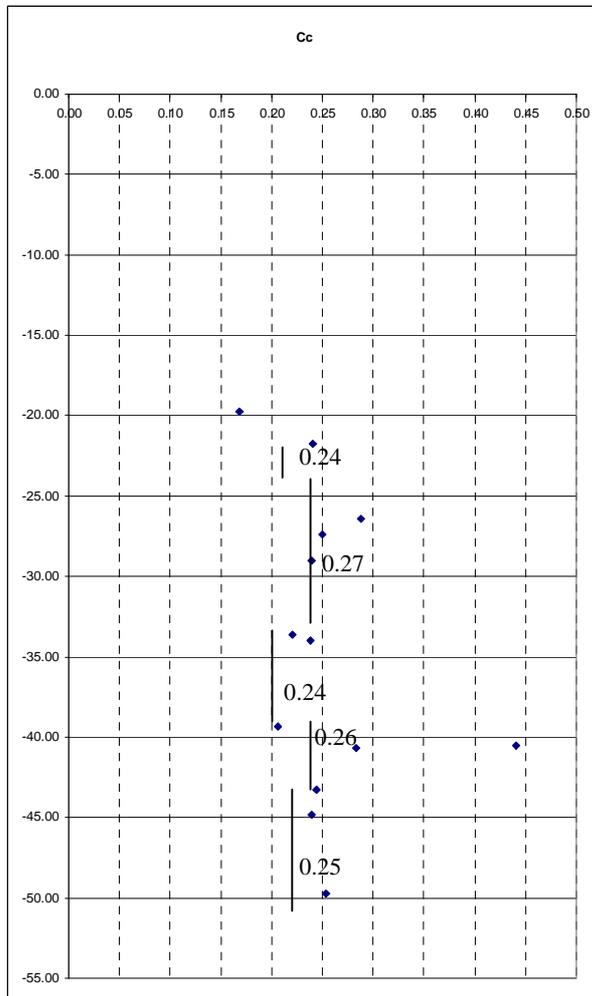
BRINDISI LNG TERMINAL

Group - Gruppo

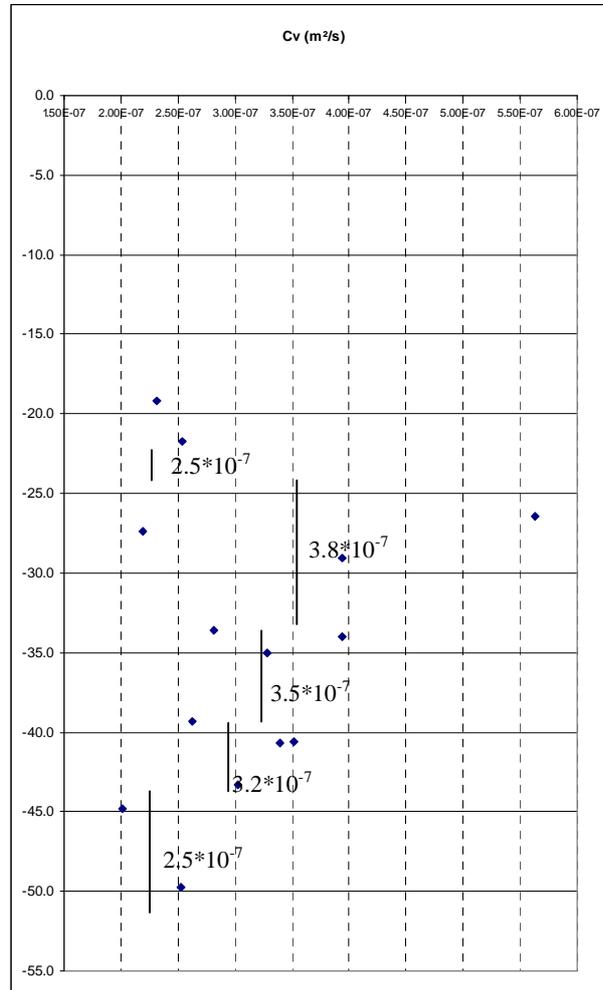
TANKS

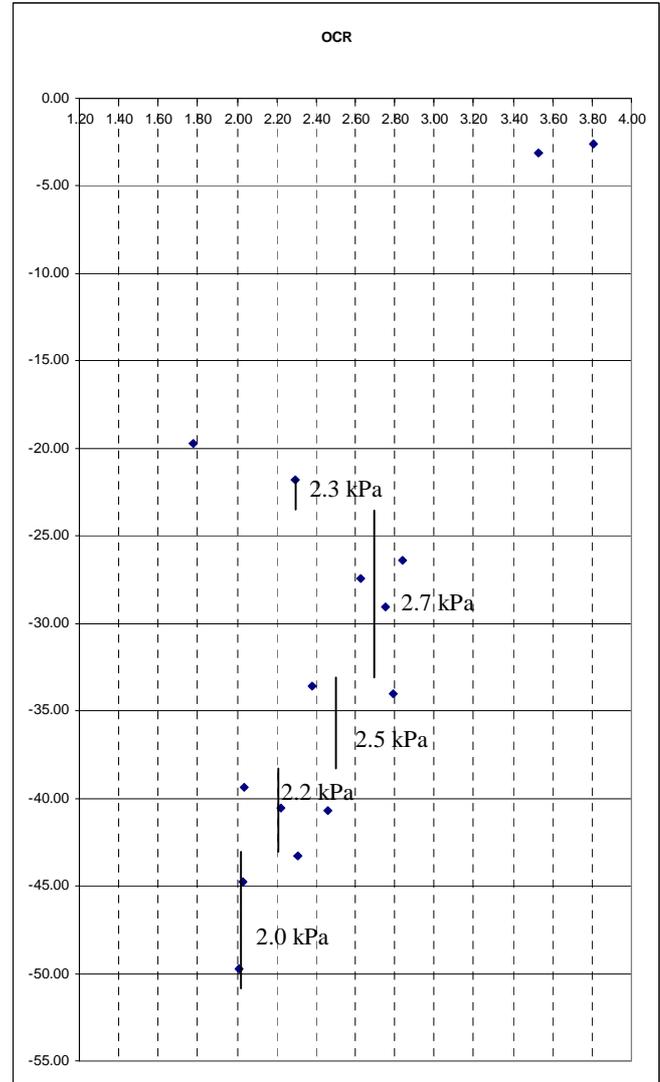
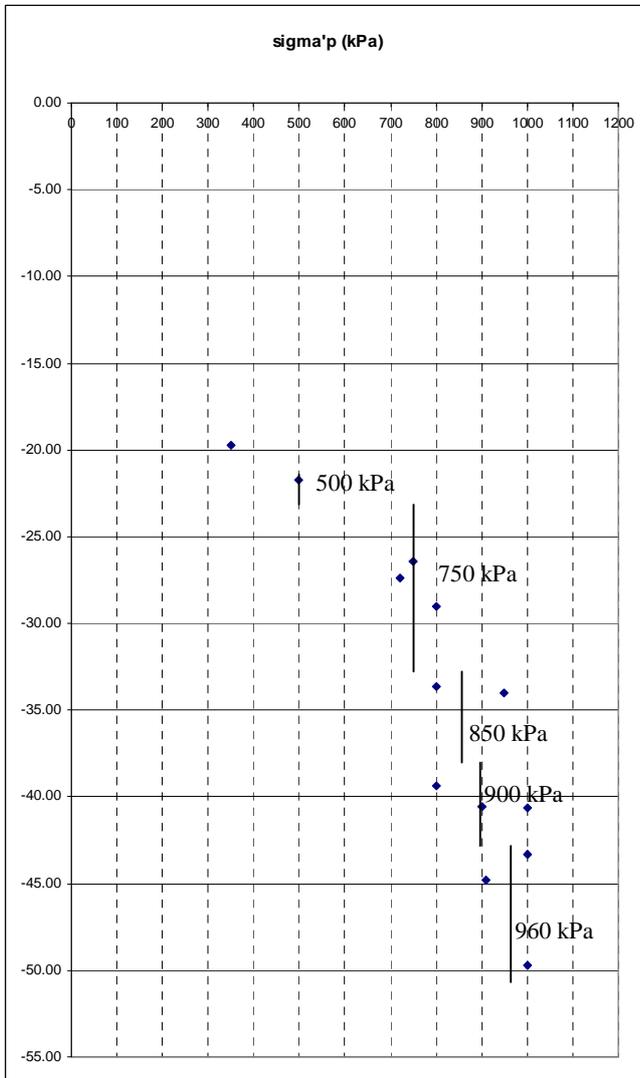
Execution Center ID Code and Issue.

PIR-DI-010



	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione		
			3269-AA-CG-3200002I		
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL		Group - Gruppo TANKS	Sheet Foglio 39 / 42	Issue Emiss. D02
					





	SINTESI DEI DATI GEOTECNICI		Identification Code Codice di Identificazione	
			3269-AA-CG-3200002I	
			Sheet Foglio	41 / 42
	Plant - Impianto BRINDISI LNG TERMINAL	Group - Gruppo TANKS	Execution Center ID Code and Issue. PIR-DI-010	

APPENDICE 6: RESISTENZA A TAGLIO NON DRENATA

